



中国肉类食品综合研究中心
CHINA MEAT RESEARCH CENTER

www.cmrc.com.cn

肉类研究

MEAT RESEARCH

2009.3

肉类保藏技术(十二)

Meats Preservation(XII)



生物防腐剂在肉品保鲜中的应用(一)

——乳酸链球菌素和纳他霉素

刁静静

(黑龙江省农产品加工工程技术研究中心, 大庆 163319)

摘要: 乳酸链球菌素和纳他霉素都属于抗菌剂。本文分别介绍了乳酸链球菌素和纳他霉素的结构、理化性质, 扼要的介绍了他们抑菌机理及使用安全性, 对于他们在肉品中的防腐保鲜应用作了系统的阐述。

关键词: 乳酸链球菌素; 纳他霉素; 肉制品; 保鲜

Application of Biologic Preservative Agent in Meat Products (I)

—— Streptostacin Lactic Acid and Natamicy

DIAO Jingjing

(Agri-Food Processing Development Centre of Heilongjiang, Daqing 163319, China)

Abstract: Streptostacin lactic acid and Natamicy belonged to biologic preservation. The paper described structure and physico-chemical property of streptostacin lactic acid and natamicy, recommended the mechanism of antibiotic and the safe. expounded the application of natamicy in meat products.

Key words: streptostacin lactic acid, natamicy, meat products, preservation

中图分类号: TS202 文献标志码: A 文献编号: 1001-8123(2009)03-0064-06

一 乳酸链球菌素

食品在原料生产、加工、包装、储存、运输和销售等各个环节, 都不可避免地会受到环境微生物的污染, 引起腐败变质。肉及肉制品本身营养丰富、蛋白质、脂肪含量丰富, 水分活度比较高, 是适于微生物生长和繁殖的天然培养基, 加工原辅料种类繁多, 来源复杂, 从原料肉、辅料、香辛料等添加物一直到成品, 源头污染和二次污染难以彻底控制, 熟制品加工温度比较低, 杀菌不彻底, 仍有一些耐热微生物的存在, 导致肉制品易发生微生物性腐败, 也是导致肉制品货架期短、不便长途运输、流通消费不均衡等现象的主要原因。在我国, 冷链系统还不完善, 食品加工、包装、贮运等技术与发达国家相比仍存在一定差距, 发达国家已经使

用或推广的新型微生物控制技术和肉类保藏技术目前在我国肉类工业上还无法直接使用。在我国, 利用防腐抑菌剂对腐败微生物进行抑制和杀灭, 是传统的也是有效的方法之一, 而且肉类工业的发展离不开合理、安全的肉类防腐剂的使用。

1 生物保鲜剂

1.1 生物保鲜剂的种类

随着肉类食品安全问题的突出和人们对健康的重视, 肉类食品生物防腐越来越受到企业和消费者的青睐。而且生物防腐技术必将肉及肉制品防腐保鲜的发展方向, 也是肉类工业发展的需要。天然肽类物质细菌素 Nisin, 天然抗微生物酶类物质溶菌酶和氧化还原酶, 天然海洋生物型甲

收稿日期: 2009-02-12

壳素类物质壳聚糖和壳寡糖、生姜和蒜的提取物,蜂胶以及乳铁蛋白等等,这些抑菌剂与化学合成的防腐剂相比,坦然、安全,抑菌谱较广,具有用量小效果好的优点,在肉及肉制品工业领域中最具开发潜力及前景。

1.2 乳酸链球菌素的特性及微生物学特性

乳酸链球菌素(英文Nisin),是由乳酸菌属(lactic acid bacterium, LAB)的乳酸链球菌产生的一种细菌素,而且产生菌对其细菌素有自身免疫性。

细菌素根据化学结构、稳定性和分子量大小可分为4类。第一类定义为羊毛硫抗生素(Lantibiotics),是一类小分子的修饰肽,含19~50个以上的氨基酸分子,分子活性部位有羊毛硫氨酸(Lanthionine)、 β -甲基羊毛硫氨酸(β methylanthionine)、脱氢酪氨酸(Dehydrobutyrine)和脱氢丙氨酸(Dehydroalanine)等非编码氨基酸。Lantibiotic又可细分为两个亚类:Ia类是由在靶目标膜上形成孔道的阳离子和疏水基团组成的肽,它与结构稳定的Ib类相比,结构的伸展性更好,Ib类是球状的肽类,它不带电或带负电。第二类是小分子的热稳定肽(SHSP^[1]),分子量小于10 kDa,具有疏水性和膜活性,其结构特征为:N末端信号肽序列长度为18~21个氨基酸,前导肽链由一个蛋氨酸开始,并常随一个赖氨酸;有活性的细菌素其N-末端+1的位置上通常是赖氨酸或精氨酸。可以分为3个亚类:Iia类N-末端氨基酸序列为Tyr-Gly-Asn-Gly-Val,并由两个半胱氨酸所构成的S-S桥,对李斯特氏杆菌有活性;Iib类孔道复合物由两个具有不同氨基酸序列的肽类寡聚体形成;Iic类能被硫醇激活、活性基团要求有原性半胱氨酸残基。第三类是热敏感的大分子蛋白(LHLP),分子量一般大于10kDa,通常在100℃或更低温度30s内即失活,它们的抑菌谱较窄。第四类是复合型的大分子复合物,除蛋白质外还含有碳水化合物或类脂基团,目前这类细菌素还未被纯化。第二、三、四类细菌素由于不含羊毛硫氨基酸,所以通常又被称为非羊毛硫抗生素(Non-lantibiotic bacteriocin),其中第一、二类细菌素由于抑菌的高活性和专一性而作为食品防腐保鲜剂研究的较多,目前研究最深、应用最广的还是第一类的乳链菌肽(Nisin)^[1]。

Nisin无毒副作用,是一种热稳定的小分子肽,具有很强的抑制葡萄球菌属、链球菌属、小球菌属和乳杆菌属的某些菌种,能抑制大部分的梭菌属和芽孢杆菌属的芽孢,如能有效控制肉毒梭菌、李

斯特菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌等引起的食品腐败,而且在体内能被蛋白酶降解为人体所需的氨基酸。但有研究发现,Nisin与螯合剂(如EDTA)连接后,改变了靶细胞的渗透性,可以抑制一些革兰氏阴性菌,如*E. coli*和*Salmonella sp.*,或将Na₃PO₄与Nisin结合使,可以提高革兰氏阴性菌对Nisin的敏感性。部分非羊毛硫抗生素其抑菌范围却很窄,如Lactococcin A等。

1.3 Nisin的抑菌机制

目前对于nisin的抑菌机制还不甚明了,所以目前研究人员对于其抑菌机理有如下假设:nisin中的脱水丙氨酸和脱水丁氨酸可能与细菌细胞中酶的巯基发生作用,故有人认为nisin的作用机制和这两个脱水氨基酸有关。还有人认为细菌素的作用机制主要是消耗细菌细胞的质子驱动力。目前有一种学说则认为nisin等细菌素的靶细胞是细胞膜,在一定的膜电位的存在下,吸附于感受菌的细胞膜上,侵入膜内形成通透孔道,可允许分子量为0.5kDa的亲水溶液通过,导致K⁺离子从胞浆中留出,细胞膜去极化及ATP泄露,细胞外水分子流入,细胞自溶而死亡。因其作用需膜电位的存在,通过在膜上形成通道,降低膜电位和pH梯度,导致细胞内容物外泄而抑菌,故又称为能量依赖型细菌素。

2 Nisin在肉品中的应用

2.1 在冷却肉保鲜中的应用

冷却肉在生产和流通过程中,虽然一直处于低温控制下(0~4℃),冷却肉的保水性、嫩度、鲜味和营养价值等得到了最大程度的提高,这使肉也可能污染一些嗜冷菌,如单核细胞李斯特增生菌(*Listeria monocytogenes*)和假单胞菌属(*Pseudomonas*)等^[2],它们在冷藏条件下仍然会大量生长和繁殖,最终导致冷却肉发生腐败变质,使肌肉的氧合肌红蛋白(MbO₂)的鲜红色转变为高铁肌红蛋白(metMb)而呈棕褐色,使冷却肉的外观可接受性严重受到影响^[3-5]。

Nisin在酸性条件下溶解性和稳定性都比较好,并且随着pH值的降低,其溶解度和稳定性都增大,而且nisin对蛋白酶很敏感,可被消化道 α -胰凝乳蛋白酶降解为多种氨基酸,人体吸收后,无残留,不影响人体益生菌,与其它抗生素不产生交叉抗性,安全可靠。作为保鲜剂使用时,只需添加万分之几即达到较强的抑制革兰氏阳性菌的作用,而且据研究表明nisin在冷冻、加热、

降低pH和EDTA处理等条件下,对G⁻也具有抑制作用,因此将其添加在肉及肉制品中是安全高效的。

Cutter和Siragusa等人将nisin喷洒到用*Brochothrix thermosphacta*, *Listeria innocua*两种菌处理过的牛肉表面,在4℃下储存24d时,结果发现用nisin喷洒在牛肉表面的组其菌落总数明显低于对照组,说明nisin具有一定的抑菌效果^[6]。随着对nisin防腐保鲜研究的进行,将nisin与其他保鲜方法协同对冷却肉防腐保鲜的研究得到了进一步的深入,1996年Cutter等将事先感染菌的牛肉经nisin溶液喷洒后,真空包装4℃下贮存,发现在第28d时,李斯特菌数量明显降低,*Brochothrix thermosphacta*达到了未检出水平。表明nisin溶液涂在鲜肉后结合真空包装可明显提高nisin的作用活性^[7]。罗欣等将鲜牛肉在2℃条件下经24h预冷,用不同浓度的nisin溶液浸渍30s,沥干,真空包装,80℃热水浸渍2s,4℃下贮存观察,发现在牛肉冷却肉的保鲜中,nisin有显著的抑菌作用,而且细菌总数明显降低,且随着nisin浓度的增加而增强^[8]。傅伟昌、马美湖等人的研究表明葡萄糖食盐溶液对保持肉样感官品质方面效果比较好,配合使用nisin和溶菌酶处理后理化指标、微生物指标都很理想。而且还研究了GNa溶液、nisin和溶菌酶在冷却肉保鲜中的效果^[9]。试验得出GNa液在维持肉的感官品质上具有良好的效果,nisin对于抑制脂肪的酸败和革兰氏阳性菌以及大肠杆菌的增殖方面有明显的效果,而溶菌酶则可以控制细菌总数、减缓挥发性盐基氮值的上升。通过试验得出GNa液、nisin和溶菌酶三者配合使用,对冷却肉的保鲜具有明显的效果。Faruk等人(2007)研究了nisin和蜂蜡涂膜复配以及直接用nisin作用对鸡肉中的嗜常温菌和沙门氏菌的抑菌效果,发现二者对嗜常温菌和沙门氏菌均有显著的抑制作用,而且nisin与蜂蜡复配后的效果要好于单独使用nisin^[10]。因而在以后的研究中应该将nisin与其他保鲜剂以及保鲜方法复配来考察其综合保鲜技术。郭良辉(2007)等人研究了nisin与溶菌酶复合生物保鲜剂对蚌肉的保鲜效果,通过感官指标、挥发性盐基氮和细菌总数等指标进行考察,从试验结果来看,溶菌酶和nisin等对蚌肉的防腐保鲜效果都好于对照组,而且nisin与溶菌酶复配后其效果更好,而且从试验中还得出nisin还具有一定的抑制脂肪的酸败的效果^[11]。张杰(2007)等人研究了复合生物保鲜剂对兔肉保鲜效果的影响,结果显示乳酸链球

菌素0.75%,溶菌酶1.0g/L,壳聚糖2.0g/L。在这个比例下将新鲜兔肉进行浸渍处理后经-0.1MPa真空度下真空包装,在4℃下冷藏可使其兔肉保鲜期达到了27d^[12]。陈洪生等人(2008年)研究了2%的大蒜提取物与nisin、乳酸等保鲜剂与高氧气调包装复合对冷却肉的保鲜作用。研究结果表明,高氧气调包装与大蒜提取物、nisin、乳酸复合对冷却肉保鲜产生了明显的效果,充分发挥了栅栏因子在冷却肉保鲜中的作用,使肉样在第28d时细菌总数值仍小于5^[13]。

2.2 在熟肉制品中的应用

Nisin在食品防腐中的重要价值在于它对梭菌和芽孢杆菌的有效作用,在肉制品中,Nisin可以部分代替亚硝酸盐,并有效的防止肉毒梭菌芽孢之毒素的形成。Nisin由于其抗菌谱窄,仅能对革兰氏阳性菌起作用而使其应用受到限制,将Nisin与其他防腐剂配合使用可以弥补这一缺点,而增强抑菌作用。

孔保华(1997)等人将Nisin应用于红肠保鲜,结果证明添加Nisin可显著降低细菌总数,并延长产品的保存期,但单独使用,效果不理想^[14]。徐幸莲等(2000)将Nisin应用于盐水鸭的保鲜,在一定程度上延长了其货架期^[15]。孙京新(1999)等将nisin与乳酸钠添加于西式火腿可将货架期由14天延长至70天^[16]。焦晓霞(2000)采用0.1%的nisin和0.1%的山梨酸添加到烤肉中延长了产品的保质期^[17]。宁喜斌、许时婴(2001)采用0.25g/kg的nisin与乳酸钠柠檬酸结合使用延长了低温火腿肠的保质期^[18]。刘鹭(2003)研究了乳酸链球菌素在泡凤爪制品的保鲜研究,研究发现泡凤爪由于本产品活性高、质地特殊等原因使其不能满足热力杀菌,极宜腐败,所以研究者在试图延长其货架期时,尝试添加了Nisin,最后得出添加300IU/g、400IU/g的Nisin于泡凤爪中,对泡凤爪的贮存、保鲜具有较好的效果^[19]。李琛(2008)等人研究发现将0.025%的Nisin、山梨酸钾0.025%、双乙酸钠0.15%、EDTA二钠0.01%,使红肠样品的菌落总数降低了10倍。而且通过研究得出添加符合防腐剂对红肠的亮度值影响比较小,对红度值得变化影响也不大^[20]。有研究表明,在培根中添加(0.1-0.5)g/kg Nisin配合0.15g/kg硝酸盐比只添加0.15g/kg硝酸盐的保质期可延长2周。用鸡肉制成的法兰克福香肠中,添加0.15g/kg硝酸盐,保存期为4周,若配合用0.05g/kg Nisin保存期可延长1周。

二 纳他霉素

纳他霉素(natamycin)是一种四烯大环内酯,也称匹马菌素、游链霉素,它可以由纳塔尔链霉菌、恰塔努加链霉菌和褐黄孢链霉菌等多种链霉菌发酵产生,该抗菌素是一种很强的抗真菌试剂,能有效地抑制酵母菌和霉菌的生长,阻止丝状真菌中黄曲霉毒素的形成^[21]。纳他霉素这种高效广谱的抗真菌剂能有效地降低强致病性真菌毒素对人类的侵害,同时由于纳他霉素的溶解度低,可用其对食品表面进行处理以增加食品的保质期,而不影响食品的风味和口感^[22]。我国现已批准使用的天然微生物防腐剂只有纳他霉素和乳酸菌素等少数几种,全世界已有三十多个国家将纳他霉素用于乳制品、肉制品、果汁饮料、葡萄酒等的生产和保藏中^[23, 24]。

1 纳他霉素的特性

1.1 纳他霉素的结构和理化性质

纳他霉素的外观呈白色或奶油色,为无气味无味道的结晶粉末。分子式为 $C_{33}H_{47}NO_{13}$,分子量为665.75。纳他霉素是一种四烯大环内酯,四烯系统是全顺式,内酯环上 C_9-C_{13} 部位是半缩醛结构,含有一个由糖苷键连接的碳水化合物基团,即氨基二脱氧甘露糖。纳他霉素其结构上存在两种典型构型:烯醇式结构和酮式结构,这就决定了它在许多溶剂中的低溶解性。纳他霉素在水中或低级醇中的溶解性随着pH的降低或升高而增加,在中性pH下溶解性最低,而在pH低于3或高于9时溶解度增大^[25]。而且纳他霉素的稳定性受pH值、温度、光照、氧化剂和重金属等条件的影响而变化^[26, 27, 28]。

1.2 纳他霉素的抑菌机理

纳他霉素是多烯大环内酯类抗菌剂,多烯是一平面大环内酯环状结构,纳他霉素分子的疏水部分即大环内酯的双键部分以范德华力和真菌细胞质膜上的甾醇分子结合,形成抗生素-甾醇复合物,破坏细胞质膜的渗透性;分子的亲水部分即大环内酯的多醇部分则在膜上形成水孔,损伤膜的通透性,从而引起菌内氨基酸、电解质等重要物质渗出而死亡。但有些微生物如细菌的细胞壁及细胞质膜不存在这些类甾醇化合物,所以纳他霉素对细菌没有作用^[29]。

纳他霉素对于抑制正在繁殖的活细胞效果很好,而对于破坏休眠的细胞则需要较高的浓度,而且它对真菌孢子也有一定的抑制效果。研究发现,

绝大多数霉菌在0.5-6ppm的纳他霉素浓度下被抑制,极个别的种在10-25ppm的纳他霉素浓度下被抑制,多数酵母菌在1.0-5.0ppm的纳他霉素浓度下被抑制^[30]。

1.3 纳他霉素的安全性

纳他霉素无毒,并且不致突变、不致癌、不致畸、不致敏。由于其难溶于水和油脂,大部分摄入的纳他霉素会随粪便排出,很难被人和动物的消化道吸收。据报道人体口服500g纳他霉素后,在血液中含量少于1mg/ml。经卫生学调查和皮肤斑点试验表明纳他霉素无过敏反应。

1966年,Levinskas等研究纳他霉素的急性毒性和慢性毒性,证明纳他霉素对人体器官没有明显影响,也不产生伤害。1973年Hamilton Mille报道纳他霉素口服毒性最小,静脉注射毒性极大。1977年De Boer和Stolk Horsthuis研究了真菌对纳他霉素形成抗性的可能性,他们在连续几年使用纳他霉素的食品仓库中,没有发现真菌形成抗性的证据,使用大于最低有效抑制浓度的纳他霉素量,经过人为诱导也没有发现真菌形成抗性的证据。1982年,Ray Bullerman报道纳他霉素能减少黄曲霉产生的黄曲毒素、赭曲霉产生的赭曲毒素、圆弧青霉产生的青霉酸、展开青霉产生的展开青霉素^[27]。因此,纳他霉素能减少真菌毒素给人类造成的危害,是一种高效、安全的新型生物防腐剂。

2 纳他霉素的发展现状

1955年,纳他霉素首次得到了分离,其产生菌是纳塔尔链霉菌(*Streptomyces natalensis*)。1982年,美国食品与药品管理局(FDA)正式批准纳他霉素可用作食品防腐剂。在美国已经批准纳他霉素用于奶酪中,而并未限制其使用方式,只要求其最终产品中纳他霉素的浓度必须低于20mg/kg^[28]。1985年,WHO和FAO规定消费者每天纳他霉素最大摄入量(ADI)为0.3mg/kg体重,奶酪和香肠的一般消费者每天摄入量为0.002mg/kg体重^[31]。1997年3月,我国卫生部正式批准纳他霉素作为食品防腐剂,其商品名为霉克(NatamycinTM)。1998年GRAS专家组认定纳他霉素用于酸奶、奶油、干酪、酸性稀奶油和农家干酪非常安全^[32]。目前,荷兰、比利时、法国、西班牙、意大利、瑞典等国家都允许纳他霉素用于干酪和硬香肠的防腐,荷兰还批准纳他霉素用于苹果和梨的防腐。在我国,纳他霉素被批准用于干酪、肉制品、月饼、糕点、果

汁原浆以及易发霉食品加工器皿的表面,一般采用200~300mg/kg悬浮液浸泡或喷洒,残留量不超过10mg/kg;纳他霉素还可直接添加到沙拉酱及发酵酒中,用量分别限定为0.02g/kg和10mg/kg^[33]。因此它是一种高效安全的新型生物防腐剂。

3 纳他霉素在肉制品中的应用

纳他霉素由于溶解度低,被用作食品表面防腐剂以延长货架期,主要在奶酪、肉制品、葡萄酒、茶饮料及果汁中添加,它不会干扰其它食品组分,也不会带来异味。它在食品中的抗真菌作用是双效的:既可防止真菌引起的食品腐败,减少经济损失;又可防止真菌毒素给人类造成的毒素型食物中毒。纳他霉素是国际上公认的高效安全的食品防腐剂。我国食品添加剂使用卫生标准GB2760—1996已将纳他霉素作为增补品种批准使用,在肉制品中的最大使用量为200~300mg/kg,残留量小于10mg/kg。

研究表明,乳酸菌素肽(Nisin)对革兰氏阳性腐败细菌有抑制作用,对酵母菌及霉菌等丝状真菌无效;而纳他霉素对酵母菌及霉菌等丝状真菌有极强的抑制或杀灭作用,这一点正好与Nisin的抑菌谱相互互补^[34]。所以将纳他霉素作为食品防腐剂添加到食品中时可以考虑将几种防腐剂进行复配,真正达到较好的防腐保鲜效果。

3.1 纳他霉素在冷却肉保鲜中的应用

在肉类保鲜方面,可采用纳他霉素浸泡或喷涂肉类食品,来达到防止霉菌生长的目的。使用200mg/kg的纳他霉素混悬液对其进行浸泡或喷洒,可达到纳他霉素含量为 $8\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 安全而有效的防腐水平。但由于产品性质、地区气候等的差异,可通过实验确定最佳效果和最经济的使用浓度。李清秀等人的研究表明,乳酸链球菌素和纳他霉素复配对鸡肉进行保鲜研究具有较好的效果,且质量浓度为40mg/L的Nisin和500mg/L的Natamycin的效果更加显著^[35]。另一方面由于对于纳他霉素的研究起步比较晚,所以对其在肉类保鲜方面的报道还很少,需要进一步进行探索。

3.2 纳他霉素在熟肉制品中的应用

目前已证实,将纳他霉素悬乳液或喷涂已填好馅料的香肠表面,就可有效的防止香肠表面长霉。纳他霉素可在以下数个步骤中添加:发酵前、肠衣浸泡、已灌料香肠的浸泡、已灌料香肠的表面喷洒。对于硬香肠来说,纳他霉素的推荐用量为肠衣浸渍液质量的0.05%~0.2%。Haan Deben Rudolf

等人研究发明了纳他霉素和其它抗菌素制成混合的粉剂,用来处理香肠等食品,这种方法可以将香肠在12℃下至少保存60d以上,而不发生霉变^[36]。杜艳等人(2005)在对金华火腿传统工艺进行改进的基础上,采用0.02%纳他霉素+0.01%Nisin+1%乳酸+3%明胶配制成复合生物涂膜溶液,对低盐火腿进行表面涂膜。通过感官检测与霉菌计数,与对照组相比抑霉效果显著^[37]。

四、展 望

将生物防腐剂添加在肉及肉制品中对其进行防腐保鲜是一种发展趋势,但是由于防腐保鲜剂的种类及作用对象不同,对微生物的作用机理和作用部位不同,所以在生产中考虑到配合使用,以提高肉制品的安全性,也可以使单一防腐剂的作用得以互补,发挥增效作用。而我国对于乳酸链球菌素和纳他霉素等新型的生物防腐剂在提取、分离以及和制备技术,还有纳他霉素菌种的选育、发酵条件及应用方面还需要进行深入研究,提高其产量与纯度,用以保证食品的安全可食性。

参考文献

- [1] 汤凤霞,蔡慧农.微生物防腐剂Nisin的研究与应用[J].食品科技,2002,(11):46-47.
- [2] Buchanan,R.L. Palumbo,S.A. *Aeromonas hydrophila* and *Aeromonas sobria* as potential food poisoning species: a review[J].J. food safety.1985,7,15-29.
- [3] Charles E, Daren C, Cornforth P,Whitter D.Consumer preference for beef color and packaging did not affect eating satisfaction[J].Meat Science.2001,57:279—282.
- [4] 戴瑞彤,南庆贤.冷却肉颜色评定方法的探讨[J].食品工业科技.2001,71-73.
- [5] Stivarious M. R, Pohman W. F. Mcelyea K.S. Microbial,Instrumental Color and Ground Beef Produced from Beef Trimmings Treated with Ozone or Chorine Dioxide [J].Meat Science. 2002,60:299-305.
- [6] Nettles Cutter,C.Siragusa,G.R.Decontamination of beef carcass tissue with nisin using a pilot scale model carcass washer.Food Microbiology[J].1994,11(6):481-489.
- [7] Nettles Cutter,C.Siragusa,G.R.Reductions of *Listeria innocua* and *Brodorhrix therm osphacta* on beef following nisin spray treatments and vacuum packaging.Food Microbiology[J].1996,13(1):23-33.

- [8] 罗欣等. Nisin 在牛肉冷却肉保鲜中的应用研究[J]. 食品科学. 2000, (3): 53.
- [9] 付伟昌, 顾仁勇等. 小包装分割冷却肉保鲜技术研究[J]. 肉类工业. 2002(3): 26-29.
- [10] Faruk Bozoglu, Seyhun Yurdugu. The effects of nisin, oil wax coating and yogurt on the quality of refrigerated chicken meat[J]. Food Control. 2004, 15: 537-542.
- [11] 郭良辉, 许巧情, 许永久. 溶菌酶与 Nisin 复合生物保鲜剂对鲢肉的保鲜效果[J]. 水利渔业. 2007, 27(4): 112-114.
- [12] 张杰, 卢晓黎. 生物保鲜剂对兔肉保鲜效果的影响研究[J]. 食品科学. 2007, 28(9): 559-561.
- [13] 陈洪生, 孔保华, 刁静静. 大蒜提取物与有氧气调包装复合对冷却肉的保鲜研究[J]. 食品与发酵工业[J]. 2008, 4: 131-136.
- [14] 孔保华等. Nisin 在红肠保鲜中的应用. 肉类研究[J]. 1997, 1: 42-45.
- [15] 徐幸莲, 吕凤霞, 冯东岳. Nisin、乳酸钠和微波对盐水鸭货架期的影响[J]. 食品工业科技. 2006, 21(6): 39-41.
- [16] 孙京新. Nisin、乳酸钠添加于西式火腿延长货架寿命的研究[J]. 中国畜产与食品. 1999, 6(2): 56-59.
- [17] 焦晓霞. 乳酸链球菌素在烤肉中的应用研究[J]. 肉类工业. 2000, 10: 42-43.
- [18] 宁喜斌, 许时婴. 延长低温火腿肠保质期的 nisin 复合防腐剂[J]. 食品工业. 2001, 3: 22-23.
- [19] 刘莺. 乳酸链球菌素在泡凤爪制品保藏应用中的研究[J]. 肉类工业. 2003, (3).
- [20] 李琛, 孔保华, 陈洪生. 复合防腐剂在红肠保鲜中的应用[J]. 东北农业大学学报. 2008, 39(6): 102-106.
- [21] John, L., Koontz, Joseph E., Marcy. Formation of Natamycin: Cyclodextrin inclusion complexes and their characterization [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003, 51: 7106-7110.
- [22] Pedersen, J. C. Natamycin as a fungicide in agar media [J]. Appl Environ Microbiol. 1992, 58(3): 1064-1066.
- [23] Basilio, J. C., Debasilio, M. Z., Chiericatti C., Vinderola, C. G. Characterization and control of thread mould in cheese [J]. Lett Appl Microbiol. 2001, 32(6): 419-423.
- [24] 袁亦丞. 纳他霉素[J]. 中国食品用化学品. 1997, 2(3): 37-41.
- [25] 卢国营, 张朝晖, 洪伟杰. 新型防腐剂纳他霉素的研究进展[J]. 饲料工业. 2005, 26(11): 28-31.
- [26] 魏昭. 新型生物防腐剂纳他霉素发酵工艺的研究[D]. 河北农业大学. 2008.
- [27] Ostendrop, J. G. Natamycin[J]. Antonie van Leeuwenhoek. 1981, 47: 170-171.
- [28] 陈冠群, 李波. 纳他霉素的特性及应用[J]. 中国乳品工业. 2002, 30(4): 26-28.
- [29] 尤新. 功能性发酵制品[M]. 北京: 中国轻工业出版社. 2000, 350-361.
- [30] Gill, J. A., Martin, J. F., Polyene antibiotics. Biotechnology of antibiotics[M]. 2nd ed., Marcel Dekker, New York. 1997: 551-576.
- [31] 陈冠群. 纳他霉素发酵工艺的研究[D]. 天津: 天津科技大学. 2003.
- [32] Natamycin. Code of Federal Regulations, Part 172. 155, Title 21, 2001. Fed. Regist. 2001, 66(46): 13846-13847.
- [33] 贺家亮, 张敏, 赵胜娟. 纳他霉素的研究现状[J]. 中国食品添加剂. 2005(3): 30-32.
- [34] Luck, E., Jaeger, M. Antimicrobial food additives: characteristics, uses, effects[M]. London. 214-218.
- [35] 李清秀, 房兴堂, 贺锋, 薛忠, 陈丹霞, 徐海霞. 乳酸链球菌素和纳他霉素对鸡肉保鲜效果的研究[J]. 农产品加工. 2008, 2: 22-25.
- [36] Haan, D. R., Warmerdam, M. J. Method for the covering of food with polyene antifungal compositions[P]. WO2003014158, 2004-02-19.
- [37] 杜艳, 李兴民, 李海芹, 刘毅, 梁锋, 霍晓娜, 闫文杰. 可食性生物抑菌涂膜剂对火腿表面防腐的研究[J]. 食品工业科技. 2005, 12(26): 161-163.

更正:

《肉类研究》2009年第2期刊登的文章《含磷酸盐的香辛料液对猪肉品质的影响》(第一作者: 李红民) 和《氯化钙理对牛肉嫩化研究进展》(第一作者: 邱燕) 中, 通讯作者应该为陈楠, 1963年, 男, 副教授, 研究方向: 肉品质量控制与加工。